



УДК 62-97/98

ТЕХНОЛОГИИ СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**TECHNOLOGIES OF SUPER-SUPERCRITICAL PARAMETERS OF STEAM IN MODERN POWER ENGINEERING**

Бабенко Иван Александрович, магистрант каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: ivan10a@bk.ru, Тел.: +7(912)282-09-26

Шульман Владимир Львович, д-р. техн. наук, профессор Уральского федерального университета, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ivan A. Babenko, Master student, Department «Thermal Power Plant», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: cielo10@yandex.ru. Ph.: +7(912)647-66-10

Vladimir L. Shulman, Doctor Sc., Prof., Ural Federal University, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia.

Аннотация: В статье рассмотрены преимущества перехода мировой и отечественной энергетики со сверхкритических параметров на суперсверхкритические. Указан положительный опыт строительства станций, работающих на суперсверхкритических параметрах в прошлом в мире. В статье продемонстрирован пример эффективной эксплуатации опытного блока на суперсверхкритических параметрах на Каширской ГРЭС и опыт создания промышленного блока на Троицкой ГРЭС.

Abstract: Advantages of changing steam parameters from supercritical to advanced- supercritical for world and Russian power engineering are considered in the article. The positive experience of advanced-supercritical power stations construction in Europe in recent years is described. The examples of efficient operating of the mock-up unit in Kashirskaya power plant and creating of the commercial unit in Troitskaya power plant are observed.

Ключевые слова: суперсверхкритические параметры, угольная энергетика, Троицкая ГРЭС, Каширская ГРЭС, ТЭС.

Key words: advanced-supercritical parameters, coal energy engineering, Troitskaya power plant, Kashirskaya power plant, power station.

Экономичность паротурбинной тепловой электростанции в основном зависит от начальных ($p_0; t_0$) и конечных параметров свежего пара. Правильный выбор этих параметров для паротурбинного цикла во многом определяет надежность, экономичность и маневренность работы паровых турбин. Повышение начальных параметров пара ведет к повышению термического КПД теплового цикла, снижению удельного расхода топлива на выработку электроэнергии. Одновременно это приводит к снижению надежности и допустимой длительности работы материалов при этих параметрах, а также к увеличению начальной стоимости установки. Целесообразный предел применения тех или иных начальных параметров зависит от уровня развития металлургии, машиностроения и в настоящее время определяется освоенной технологией создания новых высокопрочных и жаростойких сталей,

главным образом перлитного и аустенитного классов.

Конкретные значения начальной температуры однозначно зависят от марки стали, применяемой для изготовления наиболее энергонапряженных элементов котельного агрегата и турбины. Для сталей перлитного класса по условиям длительной прочности начальная температура пара перед турбиной не должна превышать 540...560 °С, а для аустенитных сталей 600...650 °С.

Постоянное развитие промышленности, наличие энергодефицитных регионов в России и в мире приводит к необходимости повышения эффективности работы энергоблоков станций, увеличения единичной мощности агрегатов. Одним из возможных решений данных задач является переход на новую ступень параметров

пара – суперсверхкритические параметры (ССКД) с давлением свежего пара более 24 МПа.

В настоящее время в мире насчитывается несколько десятков энергоблоков на суперсверхкритических параметрах, построенных в основном в США, Германии, Дании, Японии.

Первая промышленная электростанция Эддистоун – 1, спроектированная для работы на суперсверхкритических параметрах пара $p_0=35,9$ МПа и $t_0=648$ °С, с двукратным промежуточным перегревом $t_{пп}=565/565$ °С, была построена в США в 1954 году.

На последующих этапах особенно сильно это просматривается на примере станций, построенных в 80-х годах прошлого века было видно, что начальное давление и температура поднимались незначительно и равнялись $p_0 = 25...28$ МПа и $t_0=560...580$ °С, а вот параметры промежуточного перегрева выросли до $t_{пп}=580...600$ °С. Такое решение является оправданным, так как понижение параметров острого пара позволило применять менее дорогостоящие материалы при одновременном сохранении надежности и маневренности оборудования. Повышение температуры промежуточного перегрева является не столь критичным, так как металл в этом случае работает при значительно меньшем давлении.

Вместе с тем опыт эксплуатации оборудования показал, что применение двукратного промежуточного перегрева при давлениях пара до 26 МПа является экономически неоправданным, так как прирост общего КПД около 1 % не компенсирует усложнение тепловой схемы энергоблока, конструкции турбины и котла. Поэтому, начиная с 80-х годов, в основном строились энергоблоки с одним промежуточным перегревом. Только переход на давление близкое к $p_0=30$ МПа снова сделал целесообразным использование второго промежуточного перегревателя пара.

Существенные успехи в развитии угольных ТЭС достигнуты во многих странах, в том числе, в Германии, где уже в 1998 г. на ТЭС Schwarze Pumpe были введены два энергоблока, работающих на буром угле, мощностью по 800 МВт с параметрами пара 26,8 МПа, 547/565 °С, КПД 40,8 %; в 2002 г. — энергоблок на ТЭС Nideraussem мощностью 1012 МВт брутто и 965 МВт нетто с КПД 45,2 %, параметры пара — 27,5 МПа, 580/600 °С.[2]

Что касается отечественной энергетики, то в советское время уже были наработки по блокам, работающим на суперсверхкритических параметрах. Одним из первых пилотных проектов

был блок СКР-100 на Каширской ГРЭС. Созданию этого блока предшествовал пуск на ТЭЦ ВТИ в ноябре 1949 года первого в мире опытного котла 60-ОП на параметры пара 30 МПа, 600°С, а затем после реконструкции 30 МПа, 650 С. На основе этого была создана экспериментальная база с крупномасштабными стендами для исследования теплогидравлических процессов, а также металла и арматуры для указанных параметров пара. Создание надстроечного блока СКР-100 осуществлено в 1956 году на Каширской ГРЭС.

Надстроечный блок мощностью 100 МВт на параметры пара 30 МПа, 650 С с промперегревом при 10 МПа, 565°С подавал пар на работающие турбины станции мощностью до 30 МВт в количестве трёх штук. [3]

На блоке СКР-100 длительность работы пароперегревателей из стали на опытном котле ТЭЦ ВТИ составила 130 тыс. часов. За всё время эксплуатации не было ни одного случая разрушения деталей в обеих энергоустановках.

Срок службы энергоблоков ТЭС составляет примерно 40 лет, при этом множество российских энергоблоков исчерпали данный ресурс. Целесообразность постепенного перехода к энергоблокам со суперсверхкритическими параметрами пара (ССКП) в России в настоящее время обусловлена многими обстоятельствами.

Российская энергетика вернулась к вводу новых мощностей современного уровня, пережив кризис застоя в развитии. Согласно Генеральному плану развития энергетики до 2030 г. планируется разработка и ввод до 2020 г. первых пылеугольных блоков мощностью 660 МВт на суперсверхкритических (ССКП) параметрах пара с давлением до 30 МПа и температурой 600 — 620°С. Повышение параметров пара — это один из наиболее эффективных способов повышения КПД ТЭС.

На площадке филиала ПАО «ОГК-2»-Троицкая ГРЭС в рамках договора о предоставлении мощности реализовался уникальный для России проект строительства пылеугольного энергоблока ПСУ-660 МВт (блок №10). Такой мощный угольный энергоблок иностранного производства появился в РФ впервые за последние 30 лет. Новый энергоблок полностью автономный от действующей части электростанции, имеющий отдельный комплекс инфраструктурных вспомогательных производственных объектов. КПД современного газоочистного оборудования блока № 10 Троицкой ГРЭС превышает 99%. Основное топливо для блока, как и для всей станции — Кузнецкий уголь. Растопочное топливо — мазут.

Общая стоимость проекта составила 54 млрд рублей. Решение о строительстве двух новых пылеугольных блоков (по 660 МВт каждый) принял новый собственник ОГК-2 — Газпром. По мнению его менеджмента, Троицкая ГРЭС выработала ресурс и нуждается в радикальной модернизации. В период с 1992 по 2016 гг. оборудование второй очереди станции, выработавшее свой ресурс (4 энергоблока, мощностью по 300 МВт каждый) было выведено из эксплуатации. [4]

Проектом строительства предусмотрена установка очистки дымовых газов от серы, что позволит получить побочный продукт производства в виде строительного гипса в количестве более 20 тыс. т/год. Штат вновь построенного энергоблока ПСУ 660 МВт ст.№10 составляет 151 чел., т.е. создано 151 рабочее место. [4]

Рабочие параметры блока № 10:

- давление – 250 кгс/см²;
- температура – 566 °С;
- КПД энергоблока – 42%;
- удельный расход условного топлива – 292 г/кВт·ч (у действующего оборудования – 450 г/кВт·ч).

Постепенный переход к энергоблокам ССКД в России возможен в ближайшем будущем, так как повышение параметров пара – один из наиболее эффективных способов повышения КПД ТЭС. Для условий России, где климатические условия позволяют иметь глубокий вакуум в конденсаторе, главными мерами являются повышение параметров пара и введение второго промперегрева. Необходимо также подчеркнуть, что повышение параметров дает эффект независимо от типа используемого топлива. Это подтверждает как опыт, так и перспективы развития американской и датской энергетики, ставящих перед собой создание высокоэкономичных пылеугольных энергоблоков.

Как можно заметить, в России успешно были построены и эксплуатируются блоки на суперсверхкритических параметрах. Опыт Троицкой ГРЭС показал, что замена устаревших мощностей новыми, современными и

экологическими блоками позволит России пойти в ногу со временем. Мы сможем максимально эффективно использовать богатые запасы угля, при этом получая мощность конкурентную на рынке электроэнергии и следовать самым жестким экологическим стандартам.

Также можно нельзя не отметить, что рост КПД несомненно приведет к увеличению капитальных вложений. Но на данном этапе развития технологий производства металлов граница, когда производство будет экономически выгодно находится между 600°С и 700°С. Даже уже на 700°С себестоимость будет больше чем на блоках, которые работают длительное время. Но если не выходить за границы разумных пределов, уже сейчас можно и нужно строить новые блоки на параметры пара выше, чем уже существующие и распространённые 24 МПа и 545/545°С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» [Электронный ресурс]. URL: http://tp-rusenergy.ru/technology/coal_blocks_with_supercritical_steam_parameters/ (дата обращения 5.04.2018).
2. Энергоконсультант «Основы современной энергетики» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energocon.com/pages/id1079.html> (дата обращения 5.04.2018).
3. Всероссийский теплотехнический институт «Аудит энергоблока СКР-100 на суперсверхкритические параметры пара установленного на Каширской ГРЭС» [Электронный ресурс]. URL: <http://vti.ru/about/scientific-technical-council/itogizasedanij-nts/30-maya-2011-goda-sostoyalos-zasedanie-nts-oao-vti-po-auditu-energobloka-skr100-na-supersverhkriticheskie-parametry-para-ustanov/> (дата обращения 5.04.2018).
4. ОГК-2 «Проект строительства энергоблока ПСУ-660» [Электронный ресурс]. URL: http://www.ogk2.ru/rus/investment/objects/psu_660_territoriya_troitskoy_gres.php (дата обращения 5.04.2018).